

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局 的影响及防护效应

——以山西省主要公路为例

王 慧, 郭晋平*, 张芸香, 魏红芬, 冯璐瑶

(山西农业大学林学院, 山西太谷 030801)

摘要: 在山西省典型公路绿化路段路侧设置样带, 在样带内按距离梯度采集路旁土壤并进行 Pb、Cr、Cu、Zn 重金属含量测定, 采用污染指数分析 4 种重金属污染物的扩散格局及公路绿化带的影响, 比较不同结构特征的绿化带对 4 种重金属污染防护效应的差异。结果表明, 4 种土壤重金属污染扩散格局呈单峰态, 主要污染区间出现在 10—70m 范围内, 4 种重金属污染指数峰值与峰值位置不同; 公路绿化带对土壤 4 种重金属污染有显著防护效应, 可将污染限制在 50m 范围内, 使峰值高度降低, 峰值位置提前; 绿化带宽度、郁闭度和树种组成对林带防护效应有显著影响, 绿化带宽度在 40—70m 即可保证对路旁土壤重金属污染起到有效防护作用, 单树种绿化带郁闭度 ≥ 0.6 , 可缩小重金属主要污染区间, 100m 处污染指数降为 0.139—0.977; 栽植混交林带使其成林后郁闭度 ≥ 0.6 , 对路旁土壤的重金属污染效果更好, 可将重金属污染的峰值位置限制在 20m 范围内。

关键词: 公路绿化带; 重金属污染; 污染指数; 水平格局; 防护效应

Influences and protective effects of roadside tree-belt on heavy metal pollution of roadside soils: a case study of major roads in Shanxi

WANG Hui, GUO Jinping*, ZHANG Yunxiang, WEI Hongfen, FENG Luyao

Forestry Academy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

Abstract: Some typical roadside tree-belts were selected for this study in Shanxi Province. Concentration of heavy metals (Pb, Cr, Cu, Zn) in roadside surface soils along the tree-belts were measured using by ICP-AES. Pollution dispersion patterns of the four heavy metals were studied by pollution index which was the ratio of heavy metal concentrations in polluted soils against that in non-polluted background soil. Protective effects of different tree-belt structure types on soil heavy metals pollution were compared. The results showed: (1) The pollution dispersion patterns of the four heavy metals (Pb, Cr, Cu, Zn) were unimodal with the major pollution distance ranging from 10 to 70m. The peak values of pollution index and the peak positions of four heavy metal concentration were different. The peak value of pollution index of the four heavy metals was 2.297, 1.000, 2.019 and 0.827. All the peak positions of the pollution values for the four heavy metals were not at road shoulders with the peak position of Cu at 20m from roads and that of Pb, Cr and Zn at 40m. (2) The roadside tree-belts had significant protective effects on the four heavy metal pollution. The pollution dispersion pattern of the four heavy metals had significant changes due to the influence of roadside tree-belt. T test showed significant difference ($P < 0.001$) in heavy metal concentration between roadside soils with tree-belts and without tree-belts (Pb, Cr, Cu, Zn). The pollution distance was limited mainly within 50m from the road. The concentration and pollution index of Pb, Cr and Cu was reduced with the peak value positions of Cr and Zn being shifted beforehand. The peak value positions of Cr and Zn were at 20m, with peak values of pollution index being 0.580 and 0.599, and peak values of concentration being

基金项目: 山西省科技攻关(20100311015); 山西省林业厅科技支撑项目(G09-47)

收稿日期: 2010-04-15; **修订日期:** 2010-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jinpinguo@126.com

93.945mg/kg and 108.549mg/kg. The peak value position of Cu was at 20m with the peak value of pollution index being 0.605 and the peak value of concentration being 54.511mg/kg. The peak value position of Pb was at 40m with the peak value of pollution index being 1.046 and the peak value of concentration being 46.940mg/kg. (3) Tree-belt width, shelterbelt porosity and species composition showed significant influence on heavy metal pollution protective effects of roadside tree-belts. The optimum tree-belt width was between 40 and 70m to effectively prevent the heavy metal pollution. Roadside tree-belts of mono-species with canopy density ≥ 0.6 could limit the main pollution ranges and reduce the pollution index of the 100m position to 0.139—0.977. Mixed tree-belt with canopy density ≥ 0.6 could be more effective to reduce roadside soil heavy metal pollution, limiting the peak value of pollution index within 20m. Moreover, the tree-belt with the mean height of main tree species ≥ 10 m, could also prevent atmospheric fine particles spread, especially for Cu which often adheres to larger particles.

Key Words: roadside tree-belt; heavy metal pollution; pollution index; dispersion pattern; protective effects

道路交通营运会显著影响路域周边环境,机动车尾气排放、轮胎和其他零部件老化和磨损、机油和燃油泄露、路面磨蚀和货物抛撒等,都会成为道路污染的重要污染源,其中对路旁土壤的 Pb、Cr、Cu、Zn、Cd、Ni、As 等重金属污染是一个重要方面^[1-4]。公路建设实践中,期望通过加强绿化带的阻滞和吸收等效应,限制污染物的扩散,消除或缓解道路污染。有关路旁土壤、路旁植物和农作物体内重金属的含量已有研究报道^[5-6],绿化带对土壤铅污染确实有防护作用^[7-8]。公路绿化带对土壤中重金属污染的防护效应,主要表现在有效降低污染程度和显著缩小污染范围两个方面。降低污染程度表现在降低峰值和污染范围内的平均值,且双行绿化带的防护作用优于单行绿化带^[9]。绿化带对路旁土壤重金属污染的防护作用存在明显的有效范围,随着距离的增加,防护效果减弱^[4,10-11]。复层结构林带可使重金属污染主要集中在路旁 20m 范围内,单层林带对阻止重金属污染的防护效果较差,而无绿化带道路的重金属污染范围更大^[12]。路旁土壤重金属污染的宽度与绿化带的组成结构类型、生长状况、林地管理方式等因素密切相关,尤其是绿化林带的高度和密度对缩小重金属污染范围影响很大^[4]。但是,由于地域特征、道路自然环境、道路类型、绿化带结构的差异等因素,公路绿化带对路旁土壤重金属污染防护效应的影响因素、绿化带结构类型对路旁土壤重金属污染防护效应的影响也会有很大差异,因此,针对个别道路的研究案例,结论之间还存在较大的不一致性,针对这一问题开展深入研究有重要意义。

本文以山西省主要公路为研究对象,按绿化带结构类型选择典型路段,通过设置调查样带,对绿化林带特征和路旁土壤 Pb、Cr、Cu 和 Zn 4 种重金属含量及其分布格局进行调查取样和测定,分析绿化带结构对路旁土壤重金属污染格局的影响和防护效应,揭示公路绿化带对路旁土壤重金属污染防护效应的影响因素和作用机制,为公路绿化带结构设计、优化和生态环境效益评价提供依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象概况

公路绿化是山西省林业六大工程之一的通道绿化工程的主体部分,于 2006 年开始全面实施,工程要求高速公路两侧绿化带宽度 20—50m,国道和省道两侧绿化带宽度 5—10m。通过工程建设,加上以往通道绿化成果,形成了较为完整的公路绿化网络。根据树种组成、林带宽度及郁闭度,现有公路绿化带可分为 6 种结构类型(表 1)。本研究对象包括了这 6 个结构类型的典型绿化带。

1.2 典型路段的选定及样带布设

本研究于 2009 年 5 月至 11 月进行。根据现有 6 个公路绿化带结构类型,考虑到高速公路、国道及省道等各类公路的代表性,选定 25 个典型路段,要求典型路段远离居民区和工矿污染,道路坡度 $< 5^\circ$,平直无弯道,连续长度大于 200m 的路段,路两侧开阔平坦,无局部地形起伏;且其附近要有一段无绿化带或两年内新建幼林绿化带,长度大于 50 m 的路段作为无绿化带对照路段。

表 1 公路绿化带结构类型及划分依据
Table 1 Roadside tree-belt structure types and classification

类型名称 Structure type	类型代码 Type symbol	绿化带特征 Belt character		
		林带宽度 Width	林带郁闭度 Canopy density	乔木层树种组成 Species composition
单树种低密度窄带型	I	< 40m	0.10—0.50	单树种
单树种高密度窄带型	II		> 0.50—1.00	
单树种低密度宽带型	III		0.10—0.50	
单树种高密度宽带型	IV		> 0.50—1.00	
多树种低密度型	V	≥40m	0.10—0.50	多树种
多树种高密度型	VI		> 0.50—1.00	

单树种低密度窄带型 Narrow tree-belt with low density and mono-species; 单树种高密度窄带型 Narrow tree-belt with high density and mono-species; 单树种低密度宽带型 Wide tree-belt with low density and mono-species; 单树种高密度宽带型 Wide tree-belt with high density and mono-species; 多树种低密度型 Tree-belt with low density and multi-species; 多树种高密度型 Tree-belt with high density and multi-species;

树种组成按林学方法确定纯林与混交林的标准划分为单树种和多树种,多树种林带由于栽植和管理上的原因,宽于 50m 较为少见,因此划分依据中没有考虑林带宽度

在每条典型有绿化带路段的路侧,垂直于道路设置 3 条样带,样带间距不小于 20m,样带长度 100m,样带宽度根据绿化带宽度确定,使样带面积不小于 400m²,同时保证样带内所包含的主要树种的株数不少于 30 株,各典型路段道路和绿化带概况见表 2。对样带内的林木进行每木检尺,计算最高乔木层树种平均高度,按株数比例计算树种组成,采用标准地对角线上样点法测定群落郁闭度。

表 2 典型路段道路和绿化带基本特征
Table 2 Basic characteristics of typical roadside and tree-belt

典型路段 Typical road section	公路类型 Road type	公路走向 Road direction	绿化带特征 Belt Character				
			宽度/m Width	郁闭度 Canopy density	乔木层/m Mean height of dominant species	树种组成 Species composition	结构类型 Structure type
阳曲大运高速	高速	南北	30	0.30	14.60	8 杨 2 槐 + 柏	I
阳曲 G108	国道	南北	20	0.34	17.82	9 杨 1 柳 - 桧柏	I
代县大运高速	高速	南北	30	0.34	10.55	10 杨	I
山阴 G208	国道	南北	15	0.45	11.33	10 杨	I
河津万仓路	省道	东西	30	0.76	13.59	10 杨 + 楸 - 槐	II
榆社太长线	国道	南北	20	0.61	11.47	10 杨	II
阳泉 G207	国道	南北	25	0.78	5.09	10 槐	II
阳泉 S214	省道	南北	30	0.94	7.73	10 槐	II
代县 S213	省道	南北	30	0.76	13.01	10 柳	II
五寨 G209	国道	南北	20	0.56	9.84	8 杨 2 柳 + 油松	II
山阴 G208	国道	南北	10	0.89	5.05	10 柳	II
襄汾 G108	国道	南北	50	0.46	17.32	8 杨 2 槐	III
山阴大运高速	高速	南北	100	0.16	6.20	10 杨	III
大同京大高速	高速	东西	100	0.13	6.93	10 杨	III
黎城 S309	省道	东西	50	0.97	17.30	10 杨 + 槐	IV
榆社太长高速	高速	南北	100	0.86	8.54	10 杨 + 柳	IV
清徐大运高速	高速	东西	40	0.87	8.73	10 杨	IV
高平 G207	国道	南北	10	0.50	16.91	7 槐 3 杨	V
柳林青银高速	高速	南北	50	0.31	5.12	6 杨 3 柳 1 侧柏	V
朔城大运路	省道	南北	10	0.35	13.44	5 柳 4 杨 1 油	V
阳高张同公路	省道	东西	20	0.26	9.91	6 杨 2 油 2 柳	V
泽州 S227	省道	南北	20	0.89	16.37	7 杨 3 柳	VI
平遥 G108	国道	南北	50	0.56	7.47	8 杨 2 柳 + 槐	VI
阳泉太旧高速	高速	东西	20	0.86	8.49	7 槐 2 火炬 1 油	VI
清徐 G208	国道	南北	40	0.86	13.13	5 柳 4 杨 1 槐	VI

1.3 土壤样品的采集与处理

在每一样带内按离开路肩的距离确定土壤样品取样点,设 0、10、20、30、40、50、75、100m 共 8 个梯度。在每个梯度上,并列等间距设置 5 个面积为 1 m × 1 m 的小样方,在每个小样方四角和对角线交点上用土钻取样 5 个,取样深度 0—20cm,将每个梯度 5 个样点上的 25 个土样充分混合,按“四分法”取出混合样品 1 kg,装入塑料袋,按路段和梯度编号挂签,带回实验室。

在距离道路 300m 之外,选择地势平坦、与样带土壤类型相同的地块设置土壤对照值采样地。样地面积 20 m × 20 m,样地内均匀布设 30 个样点,用土钻法取样,取样深度 0—20cm,将 30 个样品充分混合,按“四分法”取混合样品 1 kg,装入塑料袋,按路段编号挂签,带回实验室。

1.4 土壤重金属含量测定

带回实验室的土样经自然风干,碾碎研磨后过 1 mm 筛;取其中 5g,再次研磨后过 100 目筛备用^[13]。采用电感耦合等离子体酸式消解法测定样品的 Pb、Cr、Cu 和 Zn 含量。

1.5 土壤重金属污染评价指数

为消除不同路段土壤重金属背景值差异对分析结果的影响,借用超标指数的涵义,用土壤重金属含量测定值高于背景值的比率反映土壤重金属元素污染程度,并且以各路段无污染对照土壤重金属含量作背景值代替标准值计算土壤重金属污染指数,污染指数越大,表示该土壤中受重金属污染越严重。计算公式如下:

$$PI_i = \frac{C_i - C_0}{C_0}$$

式中, PI_i 表示土壤重金属污染指数; C_i 表示路段各样点的土壤重金属元素含量实测值; C_0 表示路段的土壤重金属元素含量背景值。

2 结果分析

2.1 无绿化带路段路旁土壤重金属污染水平格局

对无绿化路段 25 个样带内各点上重金属污染指数按距离梯度计算平均值和标准差,制成水平格局分析图(图 1)。为进一步分析各元素分布格局,采用 LSD 法对各水平梯度上重金属含量的差异进行多重比较,结果见表 3。

结合图 1 和表 3 可知,在无绿化带路段,路旁土壤 Pb、Cr、Cu 和 Zn 污染在距离路肩的 100m 范围内出现峰值,且峰值均不在路肩处,4 种土壤重金属含量和污染指数均随着距离的增大先上升至峰值再下降,呈单峰态水平分布格局。不同重金属元素的分布规律不同,其中 Cu 和 Pb 的峰值度比 Cr 和 Zn 的峰值度高。Cu 的峰值出现在距公路 20m 处,峰值污染指数 2.019,峰值含量 102.310mg/kg;Cr、Zn 和 Pb 的峰值都在 40m 处出现,峰值处污染指数分别为 1.000、0.827 和 2.297,峰值含量分别为 119.870、124.086、75.206mg/kg。

2.2 有绿化带路段路旁土壤重金属污染水平格局

对有绿化带的路段所有 75 个样带内各距离梯度上 4 种重金属污染指数分别计算平均值和标准差,为便于比较分析,将前述无绿化路段 4 种重金属污染指数水平格局一并置于图中,制成 4 种重金属水平格局分析图(图 2)。对无绿化带路段和有绿化带路段的路旁土壤 4 种重金属含量进行差异显著性 T 检验,结果表明,两者之间的 4 种重金属含量都在 $P < 0.001$ 水平上差异极显著。为进一步分析有绿化带路段 4 种重金属元素的水平格局,采用 LSD 法对绿化带各水平梯度上土壤重金属含量的差异性进行多重比较,结果见表 4。

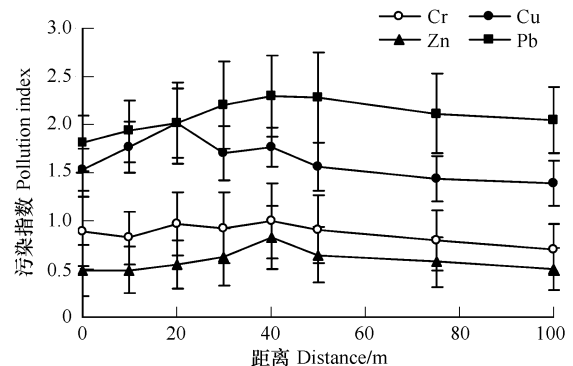


图 1 无绿化带路段路旁土壤重金属污染水平格局

Fig. 1 Dispersion pattern of heavy metal pollution in roadside soil without roadside tree-belt

表 3 无绿化带路段路旁土壤重金属含量

Table 3 Heavy metal concentration in roadside soil without roadside tree-belt

距离/m Distance	Pb/(mg/kg)	Cr/(mg/kg)	Cu/(mg/kg)	Zn/(mg/kg)
0	64.114 ± 5.425a	113.316 ± 21.044abc	85.826 ± 8.007ae	100.966 ± 17.435ad
10	66.915 ± 5.848ab	109.426 ± 16.302acd	93.852 ± 9.779b	100.998 ± 15.056ad
20	68.848 ± 6.187be	117.767 ± 18.025ab	102.310 ± 14.791c	104.558 ± 15.890ab
30	73.138 ± 9.371cdf	115.526 ± 19.866abc	91.646 ± 10.881bd	110.410 ± 18.691ab
40	75.206 ± 7.707d	119.870 ± 21.020b	93.734 ± 8.040b	124.086 ± 22.001c
50	74.796 ± 8.461cd	114.272 ± 17.315abc	86.809 ± 8.624ad	111.759 ± 17.888ac
75	70.994 ± 7.457ce	107.407 ± 14.323cd	82.610 ± 7.142ae	106.499 ± 15.926ab
100	69.403 ± 7.146bef	102.104 ± 12.127d	81.046 ± 7.474e	101.624 ± 13.072bd
300	22.948 ± 16.779g	60.342 ± 5.680e	33.916 ± 1.977f	68.025 ± 3.139e

注:表中数据为平均数 ± 标准差,数据后的小写字母表示显著性水平为 0.05,abcd 表示同一列数据的差异性,若字母相同表示两者差异不显著,反之差异显著

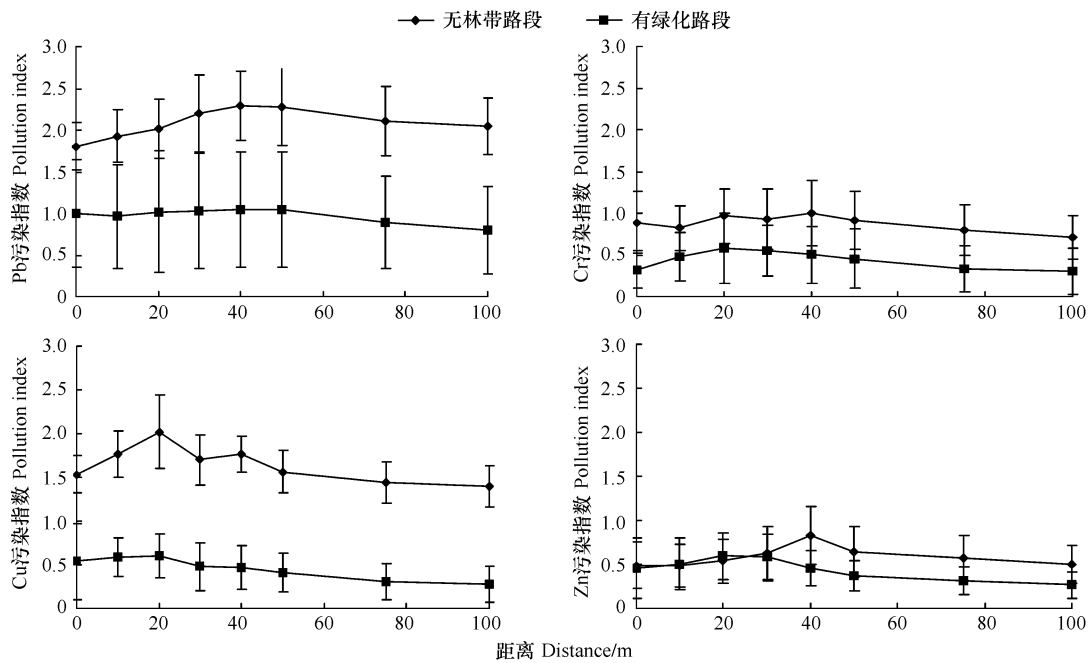


图 2 有绿化带与无绿化带路段路旁土壤重金属污染水平格局对比分析图

Fig. 2 Dispersion patterns of heavy metal contents in the roadside soils with and without roadside tree

表 4 有绿化带路段路旁土壤重金属含量

Table 4 The concentration of heavy metals in the roadside soil with roadside tree-belt

距离/m Distance	Pb/(mg/kg)	Cr/(mg/kg)	Cu/(mg/kg)	Zn/(mg/kg)
0	46.093 ± 16.020a	79.070 ± 10.820ac	52.303 ± 15.798ab	99.436 ± 24.893ac
10	45.281 ± 15.433a	88.429 ± 15.125b	53.988 ± 9.108a	102.500 ± 20.966ab
20	46.475 ± 17.388a	93.945 ± 19.337b	54.511 ± 9.057a	108.549 ± 17.300b
30	46.656 ± 16.465a	92.659 ± 15.567b	50.458 ± 10.278ab	107.175 ± 16.735ab
40	46.940 ± 15.853a	89.500 ± 16.149b	50.124 ± 9.530ab	98.928 ± 11.721ac
50	46.771 ± 15.425a	86.580 ± 15.795ab	48.067 ± 8.632bd	93.337 ± 10.092cd
75	43.331 ± 12.307a	79.302 ± 12.121ac	44.532 ± 8.140c	89.129 ± 9.134d
100	41.233 ± 11.946a	77.865 ± 11.876c	43.502 ± 8.031cd	86.018 ± 8.652d
300	22.948 ± 16.779b	60.342 ± 5.680d	33.916 ± 1.977e	68.025 ± 3.139e

注:表中数据为平均数 ± 标准差,数据后的小写字母表示显著性水平为 0.05,abcd 表示同一列数据的差异性,若字母相同表示两者差异不显著,反之差异显著

结合图 2 和表 4 可知,绿化带对路旁土壤 Pb、Cr、Cu 和 Zn 4 种重金属污染都有明显的防护效应,表现在与无绿化路段相比,有绿化带路段路旁土壤 4 种重金属污染物水平格局相对集中在 50m 范围内,Pb、Cr、Cu 3 种元素各梯度上的重金属含量和污染指数都显著下降,Pb 的峰值区间不明显,Cr、Zn 的峰值度提前,4 种重金属污染物的分布格局都有明显改变。受绿化带影响,路旁土壤重金属 Cr 和 Zn 峰值出现 20 m 处,峰值污染指数分别为 0.580 和 0.599,峰值含量 93.945mg/kg 和 108.549mg/kg;Cu 峰值出现在 20m 处,峰值污染指数 0.605,峰值含量 54.511mg/kg;Pb 峰值在 40m 处,峰值污染指数 1.046,峰值含量 46.940mg/kg。

2.3 不同结构类型绿化带对路旁土壤重金属污染防护效应的比较分析

对 4 种重金属污染物在不同样带数据进行整理分析,比较不同结构类型绿化带的典型路段路旁土壤重金属污染含量,并以无绿化路段作对比,进行不同结构类型绿化带间的差异显著性比较,并且进一步分析不同结构类型绿化带土壤重金属峰值含量、峰值污染指数、峰值位置以及 100m 处含量和污染指数,结果见表 5。

表 5 不同结构类型绿化带对土壤重金属污染格局的效应比较

Table 5 Effects of roadside tree-belts with different structures on soil heavy metal pollution

指标 Indicators		无绿化带	I	II	III	IV	V	VI
Pb	含量均值/(mg/kg)	70.427	45.8 **	36.953 **	53.74 **	62.905	41.983 **	43.488 **
	峰值含量/(mg/kg)	75.206	49.885	38.663	60.490	70.973	44.713	50.585
	峰值污染指数 <i>PI</i>	2.297	1.247	0.673	1.765	1.955	0.967	1.150
	峰值位置/ m	40	50	50	50	20	40	0
	100m 处含量/(mg/kg)	69.403	45.360	34.861	52.763	47.743	39.680	36.280
	100m 处污染指数 <i>PI</i>	2.043	1.037	0.509	1.402	0.977	0.762	0.543
Cr	含量均值/(mg/kg)	112.461	84.034 **	76.589 **	100.597 **	87.323 **	90.968 **	81.927 **
	峰值含量/(mg/kg)	119.870	94.858	82.407	126.183	101.300	100.075	91.875
	峰值污染指数 <i>PI</i>	1.000	0.594	0.369	1.284	0.580	0.780	0.453
	峰值位置/ m	40	30	30	20	30	50	20
	100m 处含量/(mg/kg)	102.100	74.023	70.106	89.537	77.233	85.380	73.740
	100m 处污染指数 <i>PI</i>	0.707	0.240	0.165	0.615	0.211	0.510	0.164
Cu	含量均值/(mg/kg)	89.729	50.428 **	42.659 **	51.328 **	53.757 **	49.533 **	57.171 **
	峰值含量/(mg/kg)	102.310	57.148	45.991	61.790	62.247	58.128	70.043
	峰值污染指数 <i>PI</i>	2.019	0.737	0.387	0.867	0.760	0.666	1.009
	峰值位置/ m	20	20	10	20	20	10	0
	100m 处含量/(mg/kg)	81.046	47.630	37.666	44.953	44.627	42.343	49.068
	100m 处污染指数 <i>PI</i>	1.395	0.448	0.139	0.343	0.262	0.213	0.401
Zn	含量均值/(mg/kg)	107.613	100.189 *	90.773 **	106.010	109.483	98.293	94.384 *
	峰值含量/(mg/kg)	124.086	112.665	97.297	122.127	135.900	111.510	115.303
	峰值污染指数 <i>PI</i>	0.827	0.701	0.445	0.759	0.984	0.638	0.682
	峰值位置/ m	40	30	30	30	0	20	20
	100m 处含量/(mg/kg)	101.624	91.275	83.106	90.647	89.877	85.123	80.390
	100m 处污染指数 <i>PI</i>	0.499	0.378	0.237	0.307	0.316	0.244	0.171

同一行含量均值进行比较;* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关($0.05 < P < 0.01$);** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关($P < 0.01$);无绿化带 Road without tree-belt;含量均值 Concentration mean value 峰值含量;Peak value of concentration;峰值污染指数 Peak value of pollution index;峰值位置 Peak value position; 100m 处污染指数 Pollution index of 100m

由表 5 可见,不同结构类型公路绿化带,对重金属污染的防护作用明显不同。单树种低密度窄带型林带对 Pb、Cr 和 Cu 污染防护效应与无绿化带相比差异极显著,Cr、Zn 污染的峰值位置提前至 30m 处,4 种重金属峰值处污染指数 0.594—1.247,至 100m 处降为 0.240—1.037;单树种高密度窄带型林带对 4 种重金属污染的防护效应与无绿化带差异极显著,Cr、Cu 和 Zn 峰值位置提前至 10—30m 处,4 种重金属峰值处污染指数 0.369—0.673,至 100m 处降为 0.139—0.509;单树种低密度宽带型林带对 Pb、Cr 和 Cu 污染的防护效应与无

绿化带差异极显著,Cr、Zn 的峰值位置提前至 20—30m 处,4 种重金属峰值处污染指数 0.867—1.765,至 100m 处降为 0.307—1.402;单树种高密度宽带型林带对 Cr 和 Cu 污染的防护效应与无绿化带差异极显著,使 Pb、Cr 和 Zn 污染的峰值位置提前至 30m 范围内,4 种重金属峰值处污染指数 0.580—1.955,至 100m 处降为 0.211—0.977;多树种的林带对重金属污染的防护效应主要表现在能够缩小其污染范围,尤其以高密度型林带效果显著,使 4 种重金属污染峰值集中在距道路 20m 的范围内,对 Pb、Cr 和 Cu 污染防护效应与无绿化带差异极显著,4 种重金属峰值处污染指数 0.453—1.150,至 100m 处降为 0.164—0.543。

3 讨论

(1)来自道路交通的含重金属颗粒物沉降引起路旁土壤重金属污染,粒径大于 $9\mu\text{m}$ 的颗粒会沉降于公路两侧 10 m 以内,粒径 $1\text{—}9\mu\text{m}$ 之间的颗粒在空中短距离扩散,粒径 $\leq 1\mu\text{m}$ 的颗粒飘移距离较远,主要沉降在 50 m 以外,10—50 m 之间为多种粒径的颗粒物沉降的区域^[14-15],因此,无绿化带路段的路旁土壤重金属污染峰值出现在路基外一定距离处。不同的重金属元素因其理化性质不同而表现出不同的分布格局^[16],因而不同的重金属元素吸附在不同粒径的颗粒气溶胶上^[17],由本研究结果表明,道路交通引起的重金属污染中,Cu 主要附着在较大粒径的颗粒物上,扩散距道路较近,而 Pb、Cr 和 Zn 多附着在小粒径颗粒物上,扩散距离较远,造成远距离污染。

(2)公路绿化带可以降低近地面风速,从而使来自道路的粉尘及颗粒物在近距离内沉降,绿化带较大的植物叶面积指数,对粉尘颗粒有吸附作用^[18-20],因而公路绿化带缩小了重金属的污染范围。公路绿化带树木在吸收矿质营养元素的同时,对土壤重金属元素也有吸收作用,可降低土壤中已经沉积的重金属,降低污染峰值^[21-22]。可见,公路绿化带对路旁土壤重金属污染的防护效应在缩小污染范围和降低污染程度两方面都有作用。

(3)不同结构类型绿化带对重金属污染的防护作用不同^[4,9,12]。本研究中,比较单树种宽带型绿化带与窄带型绿化带的峰值处与 100m 处污染指数的降幅,重金属污染的防护效应显著。因此,林带宽度是影响重金属污染防治效应的主要因素之一。林带郁闭度与其重金属污染防护效应密切相关,单树种高密度型绿化带与低密度型绿化带的 4 种重金属污染峰值处与 100m 处污染指数的降幅表明,郁闭度大的林带可有效降低重金属污染的峰值度。复层混交林结构的绿化带能缩小土壤重金属污染范围^[12],尤以高密度型绿化带显著,使 4 种重金属污染物峰值集中在 20m 的范围内。本研究中,单树种低密度窄带型绿化带主要树种平均高 $\geq 10\text{m}$,也能有效限制含重金属的颗粒物向远处飘散,尤其是对附着在较大颗粒物上的 Cu 元素污染防护效应明显,表明主要树种高度对林带防护效应的影响显著。

本研究中单树种高密度宽带型绿化带所选取的典型路段营运时间较长、车流量较大(太长高速榆社段和大运高速清徐段),路侧土壤重金属污染指数较高;而单树种高密度窄带型绿化带所属路段为国道和省道,车流量相对较小,重金属污染指数相对较低,这可能影响对两者之间防护效应差异的分析,表现出单树种高密度宽带型绿化带对 Pb、Cu 和 Zn 污染的防护效应不够显著,而单树种高密度窄带型绿化带的防护效应较好。

4 结论

(1)无绿化带路段的路旁土壤 Pb、Cr、Cu 和 Zn 重金属污染主要集中在 10—70m 范围内,在 100m 范围内呈单峰态水平距离梯度格局,4 种重金属污染物的污染指数峰值分别为 2.297、1.000、2.019 和 0.827,峰值位置 Cu 为 20m,其余三者为 40 m。

(2)公路绿化带对路旁土壤 Pb、Cr、Cu 和 Zn 重金属污染有显著防护效应,能显著改变污染物的水平分布格局,与无绿化路段相比,污染指数峰值降低,Pb、Cr 和 Cu 在各梯度上的含量和污染指数都显著下降,Cr 和 Zn 的峰值位置提前。

(3)公路绿化带宽度、郁闭度和树种组成对林带的重金属污染防护效应有显著影响,绿化带宽度应不少于 40m,70m 宽的绿化带即可满足控制重金属污染的要求。单树种绿化带,成林后郁闭度不小于 0.6,可限制重金属主要污染区间,100m 处污染指数降为 0.139—0.977。混交林带成林后郁闭度 ≥ 0.6 ,比单纯树种林带

的防护效应更好,对限制重金属污染范围更有效,使 4 种重金属污染物的峰值集中在距道路 20m 范围内。

References:

- [1] Al-Khashman O A. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*,2004,3:6803-6812.
- [2] Singh G, Maiti S K, Ghosh S P. Heavy metal contamination in roadside soil and vegetation: a review. *Indian Journal Environmental Protection*, 2009,29(4):334-341.
- [3] Banerjee A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*,2003,123(1):95-105.
- [4] Wang C, Qie G F, Yang Y, Ren Q W. Effects of highway forest belts on heavy metals pollution from tail gas of vehicles. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007,43(3):1-7.
- [5] Akbar K F, Hale W H G, Headley A D, Athar M. Heavy metal contamination of roadside soils of Northern England. *Soil Water Research*, 2006(4):158-163.
- [6] Sujetovien G, Griauslyt L. Toxicity assessment of roadside soil using wild oat(*Avenasativa* L.) and gress(*Lepidium sativum* L.) morphometric and biochemical parameters. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2008,4(46):29-35.
- [7] Du Z Y, Xing S J, Song Y M, Zhang J F, Wang Q H. Lead pollution along expressways and its attenuation by green belts in Shandong Province. *Journal of Soil and Water Conservation*,2007,21(5):175-179.
- [8] Ruan H H, Jiang Z L. Pb concentration and distribution in main tree species on both sides of highway in suburbs of Nanjing City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3):362-364.
- [9] Xu Y R, Feng Z W, Wang C X, Zhou Z X. Effects of greenbelt on levels of heavy metals in roadside soils. *Hubei Agricultural Sciences*,2002(5):75-77.
- [10] Morcelli C P R, Figueiredo A M G, Sarkis J E S, Enzweiler J, Kakazu M, Sigolo J B. PGEs and other traffic-related elements in roadside soils from S o Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*,2005, 345:81-91.
- [11] Cao X C, Meng Q F. Protective effect of urban greenbelt on air pollution. *Journal of Northeast Forestry University*, 2007, 35(10):20-21, 36.
- [12] Sun L, Han L J, Mu L Q, Cao J, He D P, Jiang L. Assessment of heavy metal contamination in roadside surface soil in a typical vegetation region of suiman highway. *Chinese Journal of Soil Science*,2008,39(5):1149-1154.
- [13] State Environmental Protection Administration of China. *Analysis Methods for Inorganic Elements Used in the National Investigation Program of Soil Pollution*,2006,10:12-25
- [14] Ma J H, Li J, Song B. Contamination and spatial distribution of heavy metals in the soils of different operating sections along the Zheng zhou-Kaifeng highway. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007,27(10):1734-1743.
- [15] Ma J H, Li J. Spatial distribution and contamination of heavy metals in road dust, sediment in roadside ditch and roadside soils along Zhengzhou-Kaifeng Highway. *Journal of Southwest JiaoTong University*,2008,43(2):285-291.
- [16] Pagotto C, Rémy N, Legret M, Le Cloirec P. Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway. *Environmental Technology*, 2001,22(3):307-319.
- [17] Sutherland R A, Tolosac A. Variation in total and extractable elements with distance from roads in an urban watershed, Honolulu, Hawaii. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, 127(1/2):315-338.
- [18] Zhao Y, Li S R, Yan Z P. The effect of greenland on absorbed dust and its assessment method. *Journal of Huazhong Agricultural University*,2002, 21(6):582-586.
- [19] Yin S, Cai J P, Chen L P, Shen Z M, Zou X D, Wu D, Wang W H. Effects of vegetation status in urban green spaces on particles removal in a canyon street atmosphere. *Acta Ecologica Sinica*, 2007(11):4590-4595.
- [20] Zhao Z Z. *Science of Agriculture Protection Forest*. Beijing: China Forestry Publishing House,1993:277-298.
- [21] Zhi Y B, Wang Z L, Wang Z S, Ma Z, Yao Y P, Li H L, Cui Y, Liu J P. The absorption and accumulation of heavy metals pollutants in plant along highway in western Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2007,27(5):1863-1872.
- [22] Yin Y L, Luo Y M, Zhang T L, He J F, Xu J H. Concentrations of metallic elements, N and S in *Sabina chinensis* cv. *Pyramidalis* leaves along urban-rural road-ways of Nanjing City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005,16(5):929-932.

参考文献:

- [4] 王成, 郗光发, 杨颖, 任启文. 高速路林带对车辆尾气重金属污染的屏障作用. *林业科学*,2007,43(3):1-7.

- [7] 杜振宇,邢尚军,宋玉民,张建峰,王清华. 山东省高速公路两侧土壤的铅污染及绿化带的防护作用. 水土保持学报,2007,21(5): 175-179.
- [8] 阮宏华,姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规律. 应用生态学报,1999,10(3):362-364.
- [9] 徐永荣,冯宗炜,王春夏,周志翔. 绿带对公路两侧土壤重金属含量的影响研究. 湖北农业科学,2002(5):75-77.
- [11] 曹秀春,孟庆繁. 城市绿化带对大气污染的防护效能. 东北林业大学学报,2007,35(10):20-21,36
- [12] 孙龙,韩丽君,穆立嵩,曹军,何东坡,姜利. 绥满公路路侧典型植被区土壤重金属污染特征及评价研究. 土壤通报,2008,39(5): 1149-1154.
- [13] 国家环境保护总局. 全国土壤污染状况调查样品分析测试技术规范. 2006,10:12-25
- [14] 马建华,李剑,宋博. 郑汴路不同运营路段路旁土壤重金属分布及污染分析. 环境科学学报, 2007,27(10): 1734-1743.
- [15] 马建华,李剑. 郑汴公路路尘、路沟底泥和路旁土壤重金属分布. 西南交通大学学报,2008,43(2):285-291.
- [18] 赵勇,李树人,严志平. 城市绿地的滞尘效应及评价方法. 华中农业大学学报,2002,21(6):582-586
- [19] 殷杉,蔡静萍,陈丽萍,申哲民,邹晓东,吴旦,王文华. 交通绿化带植物配置对空气颗粒物的净化效益. 生态学报,2007(11):4590-4595.
- [20] 赵宗哲. 农业防护林学. 北京:中国林业出版社,1993:277-298.
- [21] 智颖颢,王再岚,王中生,马中,姚一萍,李红丽,崔艳,刘建平. 公路绿化植物油松(*Pinus tabulaeformis*)和小叶杨(*Populus simonii*)对重金属元素的吸收与积累. 生态学报,2007,27(5):1863-1872.
- [22] 殷云龙,骆永明,张桃林,贺剑锋,徐建华. 南京市城乡公路蜀桧叶片中金属元素和氮、硫含量分析. 应用生态学报,2005,16(5):929-932.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元